M. SMOLUCHOWSKI

ANZAHL UND GRÖSSE DER MOLEKÜLE UND ATOME

Sonderdruck aus der "SCIENTIA„
Band XIII, Jahr 7. (1913), N. XXVII-1

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

LONDON
WILLIAMS AND NORGATE

PARIS
FÉLIX ALCAN

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN

"SCIENTIA,,

(RIVISTA DI SCIENZA)

Organo internazionale di sintesi scientifica - Revue internationale de synthèse scientifique
International Review of Scientific Synthesis - Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese

Paraissant tous les deux mois

(6 numéros par an de 240 à 250 pages chacun)

DIRECTION:

G. Bruni - A. Dionisi - F. Enriques - A. Giardina - E. Rignano

"SCIENTIA,, a été fondée en vue de contrebalancer les fâcheux effets de la spécialisation scientifique à outrance. Elle ne traite que des sujets d'ordre tout à fait général et vise surtout aux rapports qui unissent les différentes sciences entre elles: elle tend par là à la sinthétisation et unification de la science. Par ses *Articles* se rapportant aux branches les plus diverses de la recherche théorique, depuis les mathématiques jusqu'à la sociologie, par ses *Notes Critiques* sur les questions fondamentales le plus à l'ordre du jour, par ses *Comptes Rendus* de tous les ouvrages scientifiques d'intérêt général, par ses *Revues Générales* des derniers progrès dans chaque branche de la science, par ses *Analyses* des articles les plus importants parus sur les autres principaux périodiques de tout le monde, par sa *Chronique* des Congrès et de tous les autres événements de haute importance scientifique, — elle cherche en outre à donner l'idée la plus complète de l'ensemble du mouvement scientifique contemporain.

"SCIENTIA,, fait appel, pour le développement de son programme, à la coopération des autorités scientifiques les plus éminentes de tous les pays. L'accueil favorable qu'elle a rencontré auprès de celles-ci, la collaboration tout-à-fait internationale et de premier ordre qu'elle a réussi à s'assurer, et la diffusion si large qu'elle a gagnée en peu de temps dans tout le monde ont démontré combien son programme correspondait à un vrai besoin du monde savant actuel.

"SCIENTIA,, publie ses articles dans la langue de leurs auteurs. Mais au texte principal est joint ***un supplément avec la traduction française de tous les articles originaux allemands, anglais et italiens.*** Toutes les autres rubriques sont en français ou, elles aussi, traduites en français.

(Pour les renseignements aux auteurs et les abonnements voir la page 3 de la couverture)

Anno - Année / Jahr - Year VII. 1 - I - 1913 Vol. / Band XIII, N. XXVII-1

"SCIENTIA"

(RIVISTA DI SCIENZA)

Organo internazionale di sintesi scientifica - Revue internationale de synthèse scientifique
Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese - International Review of Scientific Synthesis.

INDEX

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

LONDON — WILLIAMS AND NORGATE
PARIS — FÉLIX ALCAN
LEIPZIG — WILHELM ENGELMANN

Direzione e Redazione: Milano, Via Aurelio Saffi, 11.

Articles déjà publiés par "SCIENTIA„

Abegg, R. (*Breslau*): Chemische Affinität, Valenz und das natürliche System der Elemente (L'affinité chimique, la valence et le système naturel des éléments).

André, Ch. (*Lyon*): L'hypothèse nébulaire de Laplace et la théorie de la capture de M. T. J. J. See.

Arrhenius, S. (*Stockholm*): Die Unendlickheit der Welt (L'univers infini).

— Ueber den Ursprung des Gestirnkultus (Sur l'origine du culte des astres).

Asher, L. (*Bern*): Die Beziehungen zwischen Struktur und Funktion im tierischen Organismus (Les relations de la structure et la fonction dans l'organisme animal).

Bayliss, W. M. (*London*): The functions of enzymes in vital processes (Les fonctions des enzymes dans les processus vitaux).

Becher, S. (*Giessen*): Ueber Handlungsreaktionen und ihre Bedeutung für das Verständnis der organischen Zweckmässigkeit (Sur les réactions-actes et leur signification pour l'intelligence de la finalité organique).

Bethe, A. (*Strassburg*). Neuere Vorstellungen über die Natur der bio-elektrischen Ströme (Les idées modernes sur la nature des courants bio-électriques).

Bohlin, K. (*Stockholm*): Was ist die Milchstrasse? (Qu'est-ce que la voie lactée?).

— Die veränderlichen Sterne (Les étoiles variables).

Bohn, G. (*Paris*): Le psychisme chez les animaux inférieurs.

Bonar, J. (*Ottawa - Canada*): Home trade and foreign trade (Commerce intérieur et commerce international).

Bonnesen, T. (*Kopenhagen*): La réforme de l'enseignement des mathématiques élémentaires.

Borel, E. (*Paris*): Le continu mathématique et le continu physique.

Bortkiewicz, L. (*Berlin*): Die statistischen Generalisationen (Les généralisations statistiques).

Bottazzi, F. (*Napoli*): La chimica fisica e la fisiologia (Chimie physique et physiologie).

Boruttau, H. (*Berlin*): Die innere Sekretion (La sécrétion interne).

Bouasse, H. (*Toulouse*): Développement historique des théories de la physique.

Boutroux, P. (*Poitiers*): L'évolution des mathématiques pures.

Brillouin, M. (*Paris*): Propos sceptiques au sujet du principe de relativité.

Brunhes, B. (*Clermont Ferrand*): La diversité de fortune des deux principes de la thermodynamique.

Bruni, G. (*Padova*): Le soluzioni solide (Les solutions solides).

— La chimica fisica nei suoi rapporti con le scienze biologiche (La chimie physique dans ses rapports avec les sciences biologiques).

— L'opera di J. H. van't Hoff (L'œuvre de J. H. van't Hoff).

Bryan, G. H. (*Bangor*): Diffusion and dissipation of energy (Diffusion et dissipation de l'énergie).

Caetani, L. (*Roma*): La funzione dell'Islám nella evoluzione della civiltà (La fonction de l'Islam dans l'évolution de la civilisation).

Carver, T. N. (*Cambridge - U. S. A.*): The english classical school of political economy (L'école classique anglaise d'économie politique).

— Diminishing returns and value (Diminution du rendement et de la valeur).

Castelnuovo, G. (*Roma*): Il valore didattico della matematica e della fisica (La valeur didactique des mathématiques et de la physique).

— Il principio di relatività e i fenomeni ottici (Le principe de relativité et les phénomènes optiques).

Caullery, M. (*Paris*): La méthode et les critères de la morphologie.

Celoria, G. (*Milano*): L'opera di Giovanni Schiaparelli (L'œuvre de Giovanni Schiaparelli).

Chwolson, O. (*St. Pétersbourg*): Dürfen wir die physikalischen Gesetze auf das Universum anwenden? (Peut-on appliquer les lois de la physique à l'Univers?).

Ciamician, G. (*Bologna*): Problemi e metodi della chimica organica (Problèmes et méthodes de la chimie organique).

— La fotochimica dell'avvenire (La photochimie de l'avenir).

Claparède, E. (*Genève*): La fonction du sommeil.

Costantin, J. (*Paris*): Les progrès de la culture des fleurs et leur importance pour les théories transformistes.

Crommelin, A. C. D. (*Greenwich*): The origin and nature of comets (Origine et nature des comètes).

Cunningham, W. (*Cambridge - England*): Impartiality in history (L'impartialité de l'historien).

Darwin, G. H. (*Cambridge - England*): The rigidity of the earth (La rigidité de la Terre).

De Boissoudy, J. (*Clermont-Ferrand*): Le problème de la constitution de l'atome.

Delage, Y. (*Paris*): La parthénogenèse expérimentale et les propriétés des solutions électrolytiques.

De Marchi, L. (*Padova*): Che cos'è la Terra? (Qu'est-ce que la Terre?).

— Teorie geologiche: come si formano le montagne (Théories géologiques: comment se forment les montagnes).

— Nuove teorie sulle cause dell'era glaciale (Nouvelles théories relatives aux causes de l'ère glaciaire).

Demoor, J. (*Bruxelles*): A propos du mécanisme des phénomènes d'irritabilité.

Dionisi, A. (*Modena*): Il concetto di malattia (Le concept de maladie).

Doelter, C. (*Wien*): Die Anwendung der physikalischen Chemie auf Mineralogie und Geologie (La chimie physique appliquée à la minéralogie et à la géologie).

Driesch, H. (*Heidelberg*): Die Physiologie der individuellen organischen Formbildung (La physiologie du développement de la forme organique individuelle).

Dussaud, R. (*Paris*): Le rôle des Phéniciens dans la Méditerranée primitive.

Ebstein, W. (*Göttingen*): Zur Geschichte der Entwicklung des Krankheitsbegriffes (Pour l'histoire du concept de maladie).

Eddington, A. S. (*Greenwich*): Star-Streams (Les courants stellaires).

Edgeworth, F. Y. (*Oxford*): On the use of differential calculus in economics (De l'usage du calcul différentiel en économie politique).

Emery, C. (*Bologna*): Il polimorfismo e la fondazione delle società negli insetti sociali (Le polymorphisme et la fondation des sociétés chez les insectes sociaux).

— Le piante formicarie (Les plantes à fourmis).

Engelmeyer, P. K. (*Moscou*): Heurologischer Wert der technischen Erfindung (La valeur heurologique de l'invention technique).

Enriques, F. (*Bologna*): Heterodox science and is social function (La science hétérodoxe et sa fonction sociale).

— Le principe d'inertie et les dynamiques non-newtoniennes.

— L'università italiana (L'université italienne).

— La riforma dell'università italiana (La reforme de l'université italienne).

— Il principio di ragion sufficiente nella costruzione scientifica (Le principe de raison suffisante dans la construction scientifique).

— Razionalismo e storicismo (Rationalisme et historisme).

— La teoria dello stato e il sistema rappresentativo (La théorie de l'état et le système représentatif).

— La filosofia positiva e la classificazione delle scienze (La philosophie positive et la classification des sciences).

— Il pragmatismo (Le pragmatisme).

— I numeri e l'infinito (Les nombres et l'infini).

— Il problema della realtà (Le problème de la réalité).

— Matematiche e teoria della conoscenza (Mathématiques et théorie de la connaissance).

— Il significato della critica dei principii nello sviluppo delle matematiche (La critique des principes et son rôle dans le développement des mathématiques).

Enriques, P. (*Bologna*): La morte (La mort)
— — — — et **Gortani**, M. (*Bologna*): La successione degli strati e la teoria dei periodi geologici (La succession des couches et la théorie des périodes géologiques).

Fabry, Ch. (*Marseille*): La théorie électromagnétique de l'univers.

Fano, Gino (*Torino*): La geometria non-euclidea (La géométrie non-euclidienne).

Fano, Giulio (*Firenze*): Chimica e biologia (Chimie et biologie).

Findlay, Alex. (*Aberystwith*): Osmotic pressure and the theory of solutions (La pression osmotique et la théorie des solutions).

Fisher, I. (*New-Haven, Conn., - U. S. A.*): The « impatience » theory of interest (Une théorie de l' intérêt fondée sur l' impatience).

Foà, P. (*Torino*): Il significato biologico dei tumori (La signification biologique des tumeurs).

Fowler, A. (*London*): The chemical unity of the cosmos (L'unité chimique du monde).

Francé, R. H. (*München*): Das Reaktionsvermögen der Pflanze (Le pouvoir de réaction des plantes).

Fredericq, L. (*Liège*): De la coordination organique par action chimique.

Galeotti, G. (*Napoli*): Le teorie sulla immunità (Les théories sur l'immunité).
— La dottrina degli anticorpi (L'état de nos connaissances sur les anticorps).

Gini, C. (*Bologna*): Che cos'è la probabilità? (Qu' est-ce que la probabilité?)

Giuffrida-Ruggeri, V. (*Napoli*): Il pithecanthropus erectus e l'origine della specie umana (Le pithecanthropus erectus et l'origine de l'espèce humaine).

Goblot, E. (*Lyon*): Le concept et l'idée.

Grammont, M. (*Montpellier*): Phonétique historique et phonétique expérimentale.

Gregory, Y. W. (*Glasgow*): The structural and petrographic classifications of coast-types (Les classifications structurelle et pétrographique des types des côtes).

Guignebert, Ch. (*Paris*): Les origines chrétiennes.
— L'évolution du christianisme ancien.
— De Saint Augustin à Pie X.

Haberlandt, G. (*Gratz*): Ueber Bewegung und Empfindung im Pflanzenreich (Du mouvement et de la sensibilité dans le règne végétal).

Hahn, E. (*Berlin*): Die Entstehung der Bodenwirtschaft (Les origines de l'économie agricole).

Hartog, M. (*Cork*): The dynamics of mitotic celldivision (La dynamique de la division cellulaire mitotique).

Hertwig, O. (*Berlin*): Disharmonische Idioplasmaverbindungen und ihre Folgen (Fusions disharmoniques de l'idioplasma et leurs produits).

Herz, N. (*Wien*): Die Eiszeiten (Les époques glaciaires).
— Philosophische Konzeption und mathematische Analyse in der Weltbetrachtung (Conception philosophique et analyse mathématique dans l'observation de l'Univers).
— Die Entwicklung der Erde (L'évolution de la Terre).

Hinks, A. R. (*Cambridge*): The measurement of celestial distances (La mensuration des distances célestes).

Höber, R. (*Kiel*): Die biologische Bedeutung der Kolloide (La valeur biologique des colloïdes).

Hoernes, Moriz (*Wien*): Die körperlichen Grundlagen der Kulturentwicklung (Les bases structurales du développement intellectuel).
— Die ältesten Formen der menschlichen Behausung und ihr Zusammenhang mit der allgemeinen Kulturentwicklung (Les plus anciennes formes de l'habitation humaine et leur relation avec le développement général de la civilisation).
— Ursprung und älteste Formen der menschlichen Bekleidung (Origine et formes les plus anciennes du vêtement humain).

Hoernes, Rudolf (*Graz*): Die Bedeutung der Paläontologie für die Erdgeschichte (La signification de la paléontologie pour l'histoire de la Terre).

Janet, P. (*Paris*): Le subconscient.

Jespersen, O. (*Gentofte - Danemark*): Origin of linguistic species (L'origine des espèces linguistiques).

Kidd, B. (*Oxford*): The two capital laws of sociology (Les deux lois fondamentales de la sociologie).

Kühnert, F. (*Wien*): Die ideographische Schrift und ihre Beziehung zum Sprachbau im Chinesischen (L'écriture idéographique et les rapports avec la formation de la langue dans le chinois).

Landry, A. (*Paris*): Les trois théories principales de la population.

— L'école économique autrichienne: I. Histoire de l'école; ses conceptions méthodologiques. Ses théories. Conclusion.

Langevin, P. (*Paris*): L'évolution de l'espace et du temps.

Lebedew, P. (*Moscou*): Die Druckkräfte des Lichtes (Les forces de pression de la lumière).

Le Dantec, F. (*Paris*): Comment se pose la question de l'hérédité des caractères acquis.

Lehmann, O. (*Karlsruhe*): Scheinbar lebende fliessende Kristalle, künstliche Zellen und Muskeln (Cristaux fluides ayant une apparence de vie organique; cellules et muscles artificiels).

Levi, A. (*Firenze*): Il pensiero scientifico europeo nel secolo decimonono (La pensée scientifique en Europe au XIX siècle).

Loisy, A. (*Paris*): La critique des évangiles.

Loria, A. (*Torino*): L'indirizzo storico nella scienza economica (Le point de vue historique dans la science économique).

Lowell, P. (*Flagstaff, Arizona - U. S. A.*): Mars (Mars).

Mach, E. (*Wien*): Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen (Les idées directrices de ma théorie de la connaissance dans les sciences naturelles et l'accueil qu'elles ont reçu des contemporains).

Maunder, E. W. (*Greenwich*): The « canals » of Mars (Les « canaux » de Mars).

— The Sun-Spots (Les taches du Soleil).

Maunier, R. (*Paris*): La sociologie française contemporaine.

Mazzarella, G. (*Catania*): L'etnologia giuridica, i suoi metodi, i suoi risultati (L'ethnologie juridique, ses méthodes, ses résultats).

Meillet, A. (*Paris*): Linguistique historique et linguistique générale.

— Différenciation et unification dans les langues.

— L'évolution des formes grammaticales.

Miceli, V. (*Palermo*): Gli elementi vivi del diritto (Les éléments vivants du droit).

Milhaud, G. (*Montpellier*): Cournot et le pragmatisme scientifique contemporain.

Millosevich, E. (*Roma*): Dalla torre di Babele al laboratorio di Groninga (De la tour de Babel au laboratoire de Groningue).

Moreux, Th. (*Bourges*): Le Soleil et la prévision des pluies.

Nernst, W. (*Berlin*): Sur quelques nouveaux problèmes de la théorie de la chaleur.

Oppenheimer, F. (*Berlin*): Wesen und Entstehung des Kapitalismus (L'essence et l'origine du capitalisme).

Ostwald, W. (*Leipzig*): Zur modernen Energetik (De l'énergétique moderne).

— Der Wille und seine physische Grundlegung (La volonté et sa base physique).

— Ueber Organisation und Organisatoren. I. Teil: Allgemeine Theorie (De l'organisation et des organisateurs. Ière Partie: Théorie générale).

— Ueber Organisation und Organisatoren. II. Theil: Moderne Probleme (De l'organisation et des organisateurs. IIème Partie: Problèmes modernes).

Pareto, V. (*Losanne*): L'économie et la sociologie au point de vue scientifique.

Pearl, R. (*Orono, Maine - U. S. A.*): Biometrical ideas and methods in biology: their significance and limitations (Les idées et méthodes biométriques en biologie: leur signification et leurs limitations).

Perozzi, S. (*Bologna*): Socialismo giuridico (Le socialisme juridique).

— Precetti e concetti nell'evoluzione giuridica (Préceptes et concepts dans l'évolution juridique).

Picard, E. (*Paris*): La mécanique classique et ses approximations successives.

Piéron, H. (*Paris*): Le problème de l'orientation, envisagé chez les fourmis.

Pikler, J. (*Budapest*): Ueber die biologische Funktion des Bewussteseins (Sur la fonction biologique de la conscience).

Pizzetti, P. (*Pisa*): Le misurazioni fisiche e la teoria degli errori d'osservazione (Les mesurages physiques et la théorie des erreurs d'observation).

Poincaré, H. (*Paris*): L'avenir des mathématiques.
— L'évolution des lois.
— La logique de l'infini.
— L'espace et le temps.

Puiseux, P. (*Paris*): La place du Soleil parmi les étoiles.

Rabaud, E. (*Paris*): L'évolution tératologique.

Raffaele, F. (*Palermo*): Il concetto di specie in biologia: I. Avanti e in Darwin; II. La critica post-darviniana (Le concept d'espèce en biologie: I. Avant et chez Darwin; II. La critique post-darwinienne).

Reinach, S. (*Paris*): De l'influence des images sur la formation des mythes.

Rey, A. (*Paris*): La possibilité d'une méthode positive dans la théorie de la connaissance.
— L'ostracisme du concept de force dans la physique moderne.

Riccobono, S. (*Palermo*): L'influenza del cristianesimo nella codificazione di Giustiniano (L'influence du christianisme dans la codification de Justinien).

Rignano, E. (*Milano*): Le rôle des « théoriciens » dans les sciences biologiques et sociologiques.
— La mémoire biologique en énergétique.
— Dell'origine e natura mnemonica delle tendenze affettive (De l'origine et de la nature mnémonique des tendances affectives).
— Dell'attenzione. 1.ª parte: Contrasto affettivo e unità di coscienza (De l'attention. 1ère partie: Contraste affectif et unité de conscience).
— Dell'attenzione. 2.ª parte: Vividità e connessione (De l'attention. 2ème partie: Vividité et connexion).
— Che cos' è il ragionamento? (Qu'est-ce que le raisonnement?).
— Qu'est-ce que la conscience?
— Il fenomeno religioso (Le phénomène religieux).
— Le matérialisme historique.
— Il socialismo (Le socialisme).

Righi, A. (*Bologna*): Comete ed elettroni (Comètes et électrons).

Ritz, W. (*Göttingen*): Die Gravitation (La gravitation).
— Du rôle de l'éther en physique.

Rosa, D. (*Firenze*): Delle leggi che regolano la variabilità filogenetica (Des lois qui gouvernent la variabilité phylogénétique).
— I dilemmi fondamentali circa il metodo dell'evoluzione (Dilemmes fondamentaux touchant la méthode de l'évolution).

Rouse, W. H. D. (*Cambridge*): Classical work and method in the twentieth century (Les études classiques pendant le XXe siècle).

Russell, E. S. (*London*): The evidence of natural selection (Les preuves de l'existence d'une sélection naturelle).
— Vitalism (Le vitalisme).

Sagnac, Ph. (*Lille*): De l'importance relative des faits économiques dans l'évolution historique.

Sayce, A. H. (*Oxford*): The laws of Babylonia (Les lois de Babylone).

Schiaparelli, G. (*Milano*): I primordi dell'astronomia presso i Babilonesi (La naissance de l'astronomie chez les Babyloniens).
— I progressi dell'astronomia presso i Babilonesi (Les progrès de l'astronomie chez les Babyloniens).

Scialoja, V. (*Roma*): L'arbitrio del legislatore nella formazione del diritto positivo (L'arbitraire du législateur dans la formation du droit positif).

Scott, D. H. (*London*): The evolution of plants (L'évolution des plantes).

See, T. J. J. (*Mare Island, California, U. S. A.*): The new science of cosmogony (La nouvelle science de la cosmogonie).

Seeliger, H. (*München*): Ueber die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum (Sur l'application des lois de la nature à l'Univers).

Semon, R. (*München*): Die physiologischen Grundlagen der organischen Reproduktionsphaenomene (Les fondements physiologiques des phénomènes organiques de reproduction).

Sergi, G. (*Roma*): Lacune nella scienza antropologica (Quelques lacunes dans la science anthropologique).

Severi, F. (*Padova*): Ipotesi e realtà nelle scienze geometriche (Hypothèses et réalité dans les sciences géométriques).

Sherrington, Ch. S. (*Liverpool*): The « rôle » of reflex inhibition (Le rôle de l'inhibition réflexe).

Simmel, H. (*Berlin*): Beiträge zur Philosophie der Geschichte (Quelques considérations sur la philosophie de l'histoire).

Smoluchowski, M. (*Lemberg*): Anzahl und Grösse der Moleküle und Atome (Nombre et dimensions des molécules et des atomes).

Soddy, F. (*Glasgow*): The parent of radium (Le père du radium).

— Transmutation, the vital problem of the future (La transmutation, problème vital de l'avenir).

Solla, R. (*Pola*): Die Pflanzenphysiologie in ihren Beziehungen zu den anderen Wissenschaften (La physiologie végétale et ses rapports avec les autres sciences).

Sollas, W. J. (*Oxford*): The evolution of man (L'évolution de l'homme).

Sombart, W. (*Breslau*): Die Entstehung der Städte im Mittelalter (L'origine des villes au moyen âge).

— Judaismus und Kapitalismus (Judaïsme et capitalisme).

Sommerfeldt, E. (*Tübingen*): Grundlagen der theoretischen Kristallographie (Les bases de la cristallographie théorique).

Suali, L. (*Pavia*): Esiste una filologia indiana? (Existe-t-il une philologie indienne?)

Suess, F. E. (*Wien*): Moderne Theorien der Erdbeben und Vulkane (Les théories modernes sur les tremblements de terre et les volcans).

Supino, C. (*Pavia*): Il carattere delle leggi economiche (Le caractère des lois économiques).

Tannery, J. (*Paris*): Questions pédagogiques: L'enseignement secondaire.

Thomson, A. (*Aberdeen*): What determines sex? (Qu'est-ce qui détermine le sexe?).

Uexküll, J. v. (*Heidelberg*): Die neuen Fragen in der experimentellen Biologie (Nouvelles questions de la biologie expérimentale).

Vacca, G. (*Roma*): La scienza nell'Estremo Oriente (La science dans l'Extrême-Orient).

Volterra, V. (*Roma*): Il momento scientifico presente e la nuova Società italiana per il progresso delle scienze (Le moment scientifique présent et la nouvelle Société italienne pour l'avancement des sciences).

Walden, L. (*Riga*): Ueber das Wesen des Lösungsvorganges und die Rolle des Mediums (Sur la nature du processus de solution et le rôle du solvant).

Wallerant, F. (*Paris*): Les liquides cristallisés.

Westermarck, E. (*Helsingfors*): The origin of religious celibacy (Les origines du célibat religieux).

White, W. H. (*London*): The place of mathematics in engineering practice (La place des mathématiques dans la pratique du génie).

Wiesner, J. (*Wien*): Der Lichtbedarf der Pflanze (La quantité de lumière nécessaire à la plante).

Xénopol, A. D. (*Jassy*): L'idée de loi scientifique et l'histoire.

Zeeman, P. (*Amsterdam*): L'origine des couleurs du spectre.

Zeuthen, G. H. (*Kopenhagen*): Quelques traits de la propagation de la science de génération en génération.

Ziegler, H. E. (*Jena*): Die natürliche Zuchtwahl (La sélection naturelle).

Ziehen, H. (*Frankfurt a. M.*): Die Kultur der Gegenwart (La culture intellectuelle de notre temps).

“SCIENTIA„ publie aussi des NOTES CRITIQUES sur des sujets d'actualité; des COMPTES-RENDUS sur tous les ouvrages d'intérêt général récemment parus; des REVUES GÉNÉRALES d'Astronomie, de Physique, Chimie, Biologie, Physiologie, Psychologie et Économie; des ANALYSES des articles les plus importants qui paraissent sur les principaux périodiques du monde; et enfin une CHRONIQUE (Congrès et Réunions - Nouvelles diverses) se tenant au courant de tous les événements de haute importance scientifique.

Sommaires des numéros parus en 1912 (6ème année)

Première Livraison - (N. XXI) - (Janvier 1912)

F. Enriques - *Matematiche e teoria della conoscenza.* — **T. J. J. See** - *The new science of cosmogony.* — **J. W. Gregory** - *The structural and petrographic classifications of coast-types.* — **E. Rignano** - *Dell'attenzione.* 2.a parte: *Vividità e connessione.* — **M. Hoernes** - *Ursprung und älteste Formen der menschlichen Bekleidung.* — **A. H. Sayce** - *The laws of Babylonia.* — **E. Goblot** - *Le concept et l'idée.*

Comptes rendus - Revues générales - Revue des Revues - Chronique

Deuxième Livraison - (N. XXII) - (Mars 1912)

Ch. André - *L'hypothèse nébulaire de Laplace et la théorie de la capture de M. T. J. J. See.* — **N. Herz** - *Die Entwicklung der Erde.* — **F. Soddy** - *Transmutation, the vital problem of the future.* — **D. Rosa** - *I dilemmi fondamentali circa il metodo dell'evoluzione.* — **E. Rignano** - *Le rôle des «théoriciens» dans les sciences biologiques et sociologiques.* — **G. Vacca** - *La scienza nell'Estremo Oriente.*

Note critique - Comptes rendus - Revues générales - Revue des Revues - Chronique

Troisième Livraison - (N. XXIII) - (Mai 1912)

A. R. Hinks - *The measurement of celestial distances.* — **A. Rey** - *L'ostracisme du concept de force dans la physique moderne.* — **A. Thomson** - *What determines sex?* — **S. Perozzi** - *Precetti e concetti nella evoluzione giuridica.* — **W. Sombart** - *Judaismus und Kapitalismus.* — **L. Caetani** - *La funzione dell'Islám nell'evoluzione della civiltà.*

Comptes rendus - Revues générales - Revue des Revues - Chronique

Quatrième Livraison - (N. XXIV) - (Juillet 1912)

H. Poincaré - *La logique de l'infini.* — **K. Bohlin** - *Die veränderlichen Sterne* — **A. Findlay** - *Osmotic pressure and the theory of solutions.* — **C. Emery** - *Le piante formicarie.* — **M. Grammont** - *Phonétique historique et phonétique expérimentale.*

Note critique - Comptes rendus - Revues générales - Revues des Revues - Cronique

Cinquème Livraison - (N. XXV) - (Septembre 1912)

H. Poincaré - *L'espace et le temps.* — **F. Enriques** - *Il significato della critica dei principii nello sviluppo delle matematiche.* — **E. Millosevich** - *Dalla torre di Babele al laboratorio di Groninga.* — **D. H. Scott** - *The evolution of plants.* — **H. Piéron** - *Le problème de l'orientation, envisagé chez les fourmis.* — **W. Ostwald** - *Ueber Organisation und Organisatoren. I. Theil: Allgemeine Theorie.*

Comptes rendus - Revues générales - Revue des Revues - Chronique

Sixième Livraison - (N. XXVI) - (Novembre 1912)

W. H. White - *The place of mathematics in engineering practice.* — **G. Ciamician** - *La fotochimica dell'avvenire.* — **O. Hertwig** - *Disharmonische Idioplasmaverbindungen und ihre Folgen.* — **A. Meillet** - *L'évolution des formes grammaticales.* — **A. D. Xénopol** - *L'idée de loi scientifique et l'histoire.* — **W. Ostwald** - *Ueber Organisation und Organisatoren. II. Theil: Moderne Probleme.*

Note critique - Comptes rendus - Revues générales - Revue des Revues - Chronique

---

Voir dans les pages précédentes la liste par ordre alphabétique de tous les articles publiés jusqu'ici.

"SCIENTIA„ paraît **TOUS LES DEUX MOIS.**

M. SMOLUCHOWSKI

ANZAHL UND GRÖSSE DER MOLEKÜLE UND ATOME

SONDERDRUCK AUS DER "SCIENTIA„
BAND XIII, JAHR 7. (1913), N. XXVII-1



BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

LONDON WILLIAMS AND NORGATE — PARIS FÉLIX ALCAN — LEIPZIG WILHELM ENGELMANN

MILANO — TIPO-LIT. REBESCHINI DI TURATI E C.

Die moderne Physik ist eine exacte Wissenschaft: sie sucht die experimentell erkannten Naturgesetze in quantitativ möglichst genauer, mathematischer Fassung auszudrücken und dementsprechend erkennt sie auch nur solche physikalische Theorien als berechtigt an, welche exacter zahlenmässiger Formulirung fähig sind und welche sich durch die mathematisch genaue Übereinstimmung ihrer Consequenzen mit den quantitativ erkannten Naturgesetzen controlliren lassen. Darum empfindet der moderne Physiker auch ein gewisses Missbehagen, wenn er die griechischen Philosophen Leukippus, Demokritos, den Römer Lucretius als Urheber der atomistischen Theorie preisen hört. Was von jener Atomistik des Alterthums und von späteren Interpretationen derselben bekannt ist, erscheint ihm geradezu als phantastische Faselei, denn er vermisst darin gerade das für eine physikalische Theorie Wesentlichste: den Nachweis der quantitativen Übereinstimmung mit der zahlenmässigen Form der Naturgesetze. Daran war ja auch gar nicht zu denken, solange die Physik einen nur roh qualitativen Charakter hatte.

Gewiss, als philosophische Doctrin ist die Atomistik weit über zwei tausend Jahre alt, aber als exacte physikalisch chemische Theorie zählt sie kaum ein bis zwei Jahrhunderte. Zwar hat schon Daniel Bernoulli (1738) in genialer Weise erkannt, dass das Boyle'sche Gesetz betreffs der umgekehrten Proportionalität des Gasdruckes mit dem vom Gas eingenom-

menen Volumen sich in einfacher Weise erklären lässt, wenn man annimmt, dass die Gase aus kleinen, geradlinig bewegten Teilchen bestehen, doch sind gewichtigere und allgemeinere Beweisgründe, welche gewissermassen zur Annahme der Atomistik genötigt hätten, erst wesentlich später gefunden worden.

Vor allem ist da natürlich Dalton's Entdeckung (1808) des seitdem als Grundgesetz der Chemie anerkannten Gesetzes der multiplen Proportionen bei chemischen Verbindungen zu nennen. Es würde dasselbe eine ganz rätselhafte, unbegreifliche Tatsache bilden, wenn die Moleküle chemischer Verbindungen nicht aus ganzzahligen Vielfachen verschiedener Arten gleichbeschaffener Atome zusammengesetzt wären. Durch Dalton ist die Atomistik zum Fundament der Chemie geworden, und sie ist in dieser Stellung nie wesentlich erschüttert worden; seitdem haben die Chemiker nie aufgehört atomistisch zu denken, auch nicht als vor zwei Jahrzehnten von philosophischer und physikalischer Seite aus (Mach, Ostwald) eine zwar vorübergehende, aber mächtige Gegenbewegung angefacht wurde.

Eine weitere wichtige Stütze für die Annahme der atomistischen Structur der Materie bildet das im Jahre 1784 von Hauy erkannte Grundgesetz der Krystallographie, das sogenannte Gesetz der rationellen Indices, wonach die Parameter der Krystallflächen einfache ganzzahlige Vielfache gewisser Grundeinheiten sind. Dessen Bedeutung wurde allerdings erst 1849 von Bravais, dem Begründer der modernen Krystallstrukturtheorien, voll erkannt; heute noch schenken Physiker diesem Gegenstande meist zu wenig Beachtung, obwohl er doch die Zusammensetzung der Materie aus discreten Bausteinen gewissermassen *ad oculos* demonstrirt.

Auf dem Gebiete der eigentlichen Physik fand die Atomistik eine willkommene Ergänzung und Stütze in dem Prinzip der Erhaltung der Energie, welches sich unmittelbar aus der Auffassung erklärte, dass die Wärme auf Molekularbewegung beruhe, und dass die Wärmemenge der kinetischen Energie derselben entspreche. Auf der Verschmelzung der Atomistik mit dieser Vorstellung beruht die moderne kinetisch-atomistische Theorie, welche durch Clausius' und Maxwell's Arbeiten 1857-1860 zum ersten Male exact formulirt und zur mathematischen Erklärung des Boyle-Charles'schen Gasgesetzes verwendet wurde.

In diesem Stadium war also die Atomistik schon eine wohlbegründete Theorie, welche eine Reihe ganz grundlegender Naturgesetzte aus verschiedenen Gebieten der Wissenschaften in einfachster und matematisch exacter Weise auf die Annahme zurückführte, dass die Materie aus discreten Teilchen besteht. Sie war jedoch in gewissem Sinne nur eine qualitative Theorie, solange ihr der wesentlichste quantitative Bestandteil fehlte: eine Vorstellung von der Grösse und der Anzahl jener Teilchen.

Und es ist das ein eigentümlicher Umstand, dass die übliche Chemie, welche fortwährend mit Atomen operirt, deren relative Massen aufs genaueste bestimmt, die Art ihrer Gruppierung im Molekül untersucht, keinerlei Anhaltspunkt bietet für die absolute Grösse der Atome. Dem praktischen Chemiker ist es auch ganz gleichgiltig, wie gross die absolute Masse derselben ist; er nimmt die Masse des Wasserstoffatoms als Einheit an, er kennt die relativen Massen anderer Atome in Bezug auf Wasserstoff, und diese Zahlen, die sogenannten « Atomgewichte », genügen ihm zur Berechnung der Zusammensetzung der chemischen Verbindungen und zur Controlle der chemischen Formeln.

Die Physiker trachteten allerdings immer darnach, die atomistische Theorie durch Bestimmung jener grundlegenden Daten zu ergänzen, doch boten ihnen die Erscheinungen der thermodynamisch reversiblen Prozesse hiezu keine Möglichkeit. Denn es ist wohl zu bemerken, dass sämmtliche bisher erwähnten Erscheinungen sich in ganz gleicher Weise abspielen würden, ohne Rücksicht auf die absolute Grösse der Atome. Sie würden beispielsweise ganz ebenso verlaufen, wenn die Atome beliebig klein, ja sogar unendlich klein, aber in unendlicher Anzahl vorhanden wären, und man könnte insoweit eine Atomistik annehmen, welche sich von der Continuitätstheorie scheinbar kaum unterscheiden würde.

Doch gibt es eine andere Klasse von Erscheinungen, in welchen die Grösse der Atome und ihre Anzahl in indirekter Weise eine Rolle spielt, und zwar sind dies die thermodynamisch irreversiblen Prozesse der Diffusion, Wärmeleitung und inneren Reibung, deren Theorie von diesem Standpunkt aus teilweise von Clausius, teilweise von Maxwell entwickelt wurde. Der Gedanke, dass die mathematische Theorie dieser Prozesse es ermöglicht, die Grösse der Atome, resp. Moleküle zu be-

rechnen, scheint erst dem Wiener Physiker Loschmidt eingefallen zu sein, welcher ihn im Jahre 1865 in der berühmten Abhandlung *Zur Grösse der Luftmoleküle* (« Sitzungsber. der Wiener Akademie ») näher ausführte.

Die Berechnungsmethode beruht wesentlich auf der damals fast als selbstverständlich angesehenen Annahme, dass die Atome, oder richtiger gesagt die Gasmoleküle, sich verhalten wie feste elastische Kugeln. Den Grundgedanken Loschmidt's kann man sich in folgender Weise verständlich machen: Wenn wir sagen, dass ein Raum mit Luft erfüllt sei, so heisst das in Wirklichkeit, dass der grösste Teil jenes Raumes wirklich leer ist und die Sauerstoff- und Stickstoff-Moleküle tatsächlich nur einen geringen Bruchteil desselben einnehmen, welchen man annähernd bestimmen kann, indem man die Luft durch Zusammenpressen und Abkühlen in den flüssigen Zustand kondensirt. Nach Loschmidt sind die Moleküle dann beinahe in gegenseitiger Berührung, während sie sich im gasförmigen Zustande in relativ grossen Abständen von einander befinden.

Ihre Anzahl könnte man dann leicht aus jenem « Condensationsvolumen » bestimmen, falls man ihre Grösse kennen würde. Diese aber kann man aus der sogenannten mittleren freien Weglänge der Moleküle im gasförmigen Zustande erschliessen, das ist aus der Länge der geradlinigen Wege, welche die Gasmoleküle zwischen zwei auf einanderfolgenden Zusammenstössen zurücklegen; und zwar lehrt schon eine ganz einfache geometrische Ähnlichkeits-Überlegung, dass diese Grösse bei gegebener Raumerfüllung, aber verschiedener Dimension der Kugel-Moleküle, dem Durchmesser derselben proportional sein muss.

Andererseits sieht man leicht ein, in welcher Weise der Vorgang der Diffusion (sowie der zwei anderen vorher erwähnten Erscheinungen) gerade von der Grösse der mittleren Weglänge abhängen muss, denn die Diffusion, die allmählige Vermischung zweier Gase, muss offenbar umso rascher vor sich gehen, je länger die zwischen je zwei Zusammenstössen von den Gasmolekülen zurückgelegten Wege sind. Also folgt im Ganzen, dass bei gegebener Raumerfüllung (und gegebener Temperatur, da hievon die Bewegungsgeschwindigkeit abhängt) die Diffusion — und ebenso auch die Wärmeleitung und innere Reibung — in Gasen desto intensiver sich abspielen muss,

je grösser die Gasmoleküle, desto schwächer je kleiner dieselben sind. Dieselbe Folgerung, nebst dem Wert des Proporzionalitätscoeffizienten, ergeben die genauen mathematischen Formeln von Clausius und Maxwell. Es ist das übrigens ein Zug, der nicht nur die eben erwähnten, sondern ebenso auch andere thermodynamisch irreversible Molekularphänomene charakterisiert (z. B. Elektrizitätsleitung in Gasen, Elektrolyten), dass die Geschwindigkeit ihres Verlaufes direkt mit der Grösse und Anzahl der Moleküle zusammenhängt.

In solcher Weise erhielt Loschmidt durch Combination zweier experimentell bestimmter Grössen, des Condensationsvolumens und des Coeffizienten der inneren Reibung (anstatt dessen ebenso gut die Diffusionskonstante zu benützen wäre), für den Molekulardurchmesser für Luft einen Wert von $1{\cdot}18.10^{-7}$ cm. Da die Sauerstoff und Stickstoff-Moleküle zweiatomig sind, gibt dies zugleich die Grössenordnung der Atome an.

Diese Berechnung wurde anfangs für sehr hypothetisch angesehen, obwohl jene Zahl von vornherein gar nicht unwahrscheinlich ist, da sie jedenfalls weit unter der Grenze der bis heute constatierten, durch roh mechanische Mittel erreichbaren direkten Teilbarkeit der Materie liegt. Einige diesbezügliche Angaben mögen von Interesse sein. So wird das zum Vergolden benützte Blattgold, gewöhnlich in so dünner Schichte hergestellt, dass es schon grünlich durchsichtig wird; seine Dicke beträgt dann 10^{-5} cm., sie lässt sich aber nach Faraday durch Auswalzen bis auf 5.10^{-7} vermindern. Die dünnsten von Boys hergestellten Quarzfäden hatten eine so geringe Dicke, dass sie mikroskopisch nicht mehr wahrnehmbar waren. Wahrscheinlich gibt es auch Bakterien, deren Grösse noch unter der Grenze der deutlichen Sichtbarkeit im Mikroskop liegt, d. s. unter 2.10^{-5} cm. In den seit 10 Jahren eingeführten Ultramikroskopen ist die Grenze der (verschwommenen) Sichtbarkeit noch wesentlich weiter hinaus gerückt. Es haben mittels derselben Siedentopf und Zsigmondy im Goldrubinglas die Existenz von Goldkörnchen von der Grössenordnung 5.10^{-7} cm. constatirt. Die Dicke von Seifenblasen lässt sich nach Drude, Reinold und Rücker, Johonott bis zu einem Grenzwert von 17 bis 6.10^{-7} cm. vermindern.

Alle diese Grenzwerte vertragen sich ganz gut mit der atomistischen Vorstellung, falls die Bausteine, aus welchen die

Materie besteht, von der von Loschmidt angegebenen Grössenordnung eines Milliontel Millimeters sind. Doch bilden dieselben keine eigentliche Bestätigung der Angabe Loschmidt's, sie zeigen nur dass letztere zulässig ist, insofern, da sie unterhalb der durch die direkte Erfahrung gegebenen Grenze liegt.

Eine untere Grenze für die zulässige Molekülgrösse schien dagegen durch Lord Kelvin's (Sir William Thomson) Arbeiten gegeben zu sein, welcher einige Jahre nach Loschmidt auf verschiedene Erscheinungen hinwies, wie z. B. Contactelektrisierung, Capillarerscheinungen, welche zu Widersprüchen zwischen feststehenden physikalischen Gesetzen führen würden, falls die Materie in Teilchen von der Grössenordnung 10^{-8} cm. zerteilt, noch dieselben Eigenschaften hätte wie im Grossen. Allerdings kann auch dies eigentlich nicht als Berechnung der Grösse der Atome im früheren Sinne bezeichnet werden, sondern nur als eine qualitative Schätzung des Wirkungsbereiches derselben. Es wäre sogar ganz leicht, sich ein vollkommen continuirliches, mit Kräften gewisser Art ausgestattetes Medium zu denken, ähnlich dem von Laplace in seiner Theorie der Capillarität angenommenen Medium, welches sich in dünnen Schichten scheinbar anders verhalten würde als im massiven Zustande. Aus demselben Grunde bilden mancherlei ähnliche, von anderen Autoren gegebene Schätzungen keine eigentliche Lösung unseres Problems.

Lange Zeit bildete der von Loschmidt angegebene Gedanke die einzige Methode zur quantitativen Berechnung der Molekulargrössen; nur wurde ihre Anwendung einerseits durch genauere experimentelle Daten bezüglich der mit der mittleren Weglänge zusammenhängenden Erscheinungen, andererseits durch genauere Berechnung des von den Molekülen eingenommenen Raumes verbessert. Diesbezüglich ist wohl anzunehmen, dass auch in der Flüssigkeit die Moleküle nicht den ganzen Raum vollständig ausfüllen, sondern noch einen gewissen freien Spielraum besitzen. Viel richtiger erscheint es somit, das « Condensationsvolumen » durch die experimentell ermittelbare Grösse b der Van der Waals'schen Zustandsgleichung zu ersetzen, welche der Ableitung jener Gleichung zufolge das Vierfache des wirklich von den Molekülen eingenommenen Volums bedeutet. Andere Methoden haben Dorn und Exner angegeben, indem sie die Dielektrizitätsconstante

der Gase und den damit zusammenhängenden optischen Brechungsindex heranzogen. Sie verbanden dies mit der von Clausius und Mosotti stammenden Theorie der Dielectrica, welche die Atome als elektrisch leitende, im Vacuum eingebettete Kugeln ansieht, und welche unter dieser Annahme aus der Dielektrizitätsconstante den Raumerfüllungscoeffizienten zu berechnen gestattet.

Das Resultat dieser Verbesserungsversuche war jedoch nicht ganz befriedigend, denn die verschiedenen Berechnungsarten führten zwar zu Zahlen ähnlicher Grössenordnung, aber die Unterschiede waren doch bei weitem grösser als der durch Versuchsfehler gestattete Spielraum. In seinem bekannten Buche *Über kinetische Gastheorie* (vom Jahre 1899) führt O. E. Meyer eine ausführliche Discussion dieses Gegenstandes durch und berechnet nach den verschiedenen Methoden von Loschmidt, Dorn, Exner, Van der Waals Werte des Molekulardurchmessers, die z. B. für Wasserstoff zwischen 3.10^{-7} und $0{\cdot}14.10^{-7}$ cm. schwanken. Noch bedenklicher ist der Unterschied in den damit zusammenhängenden Anzahlen der Moleküle, denn diese sind (bei gegebener mittlerer Weglänge) dem Quadrat jener Zahlen umgekehrt proportional, würden also je nach der Berechnungsart im Verhältnis 1 : 400 variiren. O. E. Meyer wählte unter diesen verschiedenen Zahlen, allerdings ohne eigentliche Begründung, für den Molekulardurchmesser $0{\cdot}2.10^{-7}$ cm. und für die in einem Cubikcentimeter Gas enthaltene Molekülzahl $n = 6.10^{19}$ als die wahrscheinlichsten Werte, und diese wurden auf Grund jener Autorität bis in die letzten Jahre allgemein angenommen.

Wie steht nun diese Frage, vom heutigen Standpunkt der Wissenschaft aus betrachtet? Da sind nun gegen die ganze Loschmidt'sche Berechnungsmethode ganz gewichtige Einwände zu erheben, welche deren Resultate zu einer ganz rohen Schätzung herabdrücken.

Vor Allem unterliegt es seit langem keinem Zweifel, dass die von O. E. Meyer und Clausius angewendeten Formeln zur Berechnung der mittleren Weglänge aus Diffusion u. dergl. unrichtig abgeleitet sind. Die allgemeine Form derselben ist gewiss richtig, aber der Wert des Zahlencoeffizienten, welchen sie enthalten, ist bis heute nicht genau bekannt. Es hat namentlich Boltzmann die Mängel der jenen Formeln zugrunde liegenden Rechnungen klargelegt, aber es ist trotz grosser

Bemühungen diesem so hervorragenden Theoretiker nicht gelungen sie zu verbessern. Und bis heute sind jene Berechnungen unter der Annahme, dass die Moleküle sich wie elastische Kugeln verhalten, nicht exact durchgeführt, und selbst die neueren Arbeiten von Langevin und Jeans bringen da keine endgiltige Lösung der Schwierigkeiten.

Andererseits hat auch die vorher erwähnte Clausius-Mosotti'sche Theorie heute nur noch historisches Interesse, denn es ist heute ganz sicher, dass die Moleküle und Atome keine elektrisch leitenden Körper sind.

Noch schwerwiegender ist aber ein ganz prinzipieller Einwand: Haben die Moleküle und Atome überhaupt ein unveränderliches Volumen? Fernerstehende, welche daran gewöhnt sind, sich dieselben als starre feste Körner vorzustellen, sehen das als ganz selbstverständlich an, aber die heutigen Physiker sind anderer Meinung. Vor allem wissen wir ja heute, dass die sogenannten Atome durchaus nicht unteilbare Stücke homogener Materie sind — was man auch darunter sich vorstellen möge — sondern einen complizirten inneren Bau besitzen; die Erscheinungen des radioactiven Zerfalls und der spektralen Strahlung beweisen das ganz unwiderleglich.

Es wäre also von vornherein ganz wahrscheinlich, dass die Grenze, bis zu welcher zwei derartige Gebilde einander genähert werden können — welche die Grösse des scheinbar undurchdringlichen Eigenvolums derselben bestimmt, von dem Drucke abhängt, mit welchem dieselben an einandergepresst werden, vielleicht auch von der Temperatur, welche in dem Systeme herrscht u. s. w. Man könnte erwarten, dass Atome welche mit grösserer Geschwindigkeit auf einander treffen, sich mit ihren Mittelpunkten näher kommen, als wenn sie mit geringer Geschwindigkeit sich nähern. Tatsächlich hat schon vor 40 Jahren Stefan aus der experimentell gemessenen Veränderlichkeit der Zähigkeit der Gase mit der Temperatur einen solchen Schluss gezogen. Eine auffallende Bestätigung erhalten diese Vorstellungen auch durch die neueren Versuche über Absorption von α Strahlen durch Materie; darnach dringen α Partikeln, das sind positiv elektrisirte, mit der enormen Geschwindigkeit von cca. 20.000 Km. pro Sekunde geschleuderte Heliumatome durch viele Hunderte von Atomen einer materiellen Substanz (z. B. Gold) hindurch, ohne eine erhebliche Ablenkung aus der geradlinigen Bahn zu erleiden.

Aus alledem scheint zu folgen, dass die Grösse der scheinbar undurchdringlichen Atom-Kerne von den äusseren Umständen abhängt, in welchen diese beobachtet werden, dass dieselbe auch beispielsweise für eine und dieselbe Substanz im gasförmigen und flüssigen Zustand verschieden sein könnte. Ausserdem ist natürlich auch die Voraussetzung einer kugelförmigen Gestalt ganz willkürlich und ist zum Mindesten für mehratomige Moleküle gewiss unrichtig.

Somit wird nicht nur die Berechtigung der Loschmidt'schen Berechnungsmethode der Molekülgrösse erschüttert, sondern es zeigt sich, dass das ganze Problem in anderer Weise formulirt werden muss. Der Kernpunkt der Atomistik ist die Frage nach der Anzahl der Atome, welche in einem bestimmten Quantum Substanz enthalten sind. Das ist ein klar definierter Begriff, ganz unabhängig von der Frage nach der Natur jener Atome. Kennt man jene Anzahl, so ist erst dann zu untersuchen, in wie weit äussere Umstände das einem Atom oder Molekül zukommende Volum beeinflussen, und wie gross dasselbe unter normalen Verhältnissen ist.

Nun ist allerdings seit Loschmidt noch eine ganze Reihe anderer Methoden zur Lösung dieser Fragen angegeben worden, aus welchen man Atomdurchmesser von 10^{-7} bis 10^{-8} cm. berechnet hat. Manche von ihnen sind recht interessant und sinnreich, aber sie bringen keinen wirklichen Fortschritt, da sie meist auf noch unsicherer, noch mehr mit verschiedenen Hypothesen verknüpfter Grundlage basiren, als jene und da alle auch den hier dargelegten prinzipiellen Einwänden offen stehen.

Erst in den letzten Jahren sind einige Arbeiten erschienen, welche der eben dargelegten rationellen Formulierung des Problems entsprechen und welche ganz neues Licht in die Angelegenheit gebracht haben, indem sie direkt die Anzahl der Moleküle zu bestimmen gestatten.

Vor Allem ist da eine Anzahl von Methoden zu nennen, welche man unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt bringen kann. Sie alle beruhen nämlich auf Beobachtung thermodynamischer Gleichgewichtszustände und bringen hierin gewisse Anomalien in Evidenz, welche der herkömmlichen Thermodynamik widersprechen und welche eben auf die Endlichkeit der Molekülzahl zurückzuführen sind. Die Theorie derselben ist von Einstein und von Smoluchowski entwickelt worden, wobei sich in einem gewissen Falle auch Anschlüsse

an ältere Arbeiten von Lord Rayleigh ergeben haben; um die experimentelle Ausführung hat sich Perrin die meisten Verdienste erworben. Ohne übrigens in Einzelheiten einzugehen, die uns hier zu weit führen würden, beschränken wir uns auf die Anführung folgender derartiger Methoden:

1. Beobachtungen der Brown'schen Molekularbewegung,
2. Opalescenzerscheinungen in Gasen,
3. Verteilung von Teilchen einer Emulsion unter Einfluss der Schwerkraft.

Diese letztere Methode ist theoretisch am einfachsten und ist auch in experimenteller Hinsicht am meisten ausgebildet worden, daher möge sie etwas eingehender besprochen werden.

Der Grundgedanke ist Folgender. Könnten wir uns künstlich Moleküle von direkt messbaren Dimensionen oder direkt wägbarer Masse fabrizieren und könnten wir andererseits deren chemisches Molekulargewicht (in Bezug auf Wasserstoff-Atome) nach den üblichen chemisch-physikalischen Methoden bestimmen, so wäre das ganze Problem gelöst, denn wir hätten da ein Mittel, das absolute Gewicht des Wasserstoffatoms zu berechnen und somit überhaupt die in einer gegebenen Quantität Substanz enthaltene Anzahl von Atomen zu bestimmen.

Dies ist nun wirklich in gewissem Sinne ausführbar. Wird beispielsweise das als gelbe Malerfarbe gebräuliche Gummigutt mit Wasser verrührt, so bildet es eine Emulsion. Der kinetischen Theorie zufolge müssen sich nun Teilchen, die in einer Flüssigkeit suspendirt sind, wie jene mikroskopisch sichtbaren Gummigutt-Körnchen aus denen die Emulsion besteht, in gewissem Sinne analog verhalten, wie wenn sie Gasmoleküle wären: sie haben dieselbe kinetische Bewegungsenergie und üben einen dementsprechenden osmotischen Druck aus. Bekanntlich hat schon lange Vant'Hoff auf Grund der Experimente von Pfeffer nachgewiesen, dass die Moleküle eines gelösten Stoffes einen solchen osmotischen Druck ausüben, als ob dieselben ein gasförmiges Medium bilden würden, ohne Rücksicht auf die Art des Lösungsmittels. Ganz dasselbe muss auch für beliebig grosse Teilchen gelten, da die Grösse derselben für die Giltigkeit dieser Beziehung gar nicht in Betracht kommt.

Wenn also die Emulsion dem Einfluss der Schwerkraft allein überlassen wird, werden die suspendirten Teilchen nicht mit der Zeit vollständig zu Boden sinken, wie man früher wohl allgemein

geglaubt hat, sondern sie werden am Boden des Gefässes eine von unten nach oben an Dichtigkeit allmählig abnehmende Schichte von endlicher Dicke bilden, die sich mit der gasförmigen Erdatmosphäre vergleichen lässt. Denn in beiden Fällen wird die Wirkung der Schwere der Teilchen, beziehungsweise der Luftmoleküle, welche für sich allein dieselben zu Boden drücken würde, durch die entgegengesetzte Wirkung der unaufhörlichen Molekularbewegung derselben compensiert, und die schliesslich resultirende Verteilung ist ein Compromiss zwischen diesen zwei entgegengesetzten Tendenzen. Der Unterschied beider Fälle ist nur quantitativ, indem natürlich die relativ sehr grossen Teilchen der Emulsion in viel höherem Grade der Schwerkraft folgen müssen als die Luftmoleküle. Während also die Erdatmosphäre erst in einer Höhe von 5600 m. halb so dicht ist wie im Meeres-Niveau, hat z. B. Perrin beobachtet, dass in einer Gummigutt-Emulsion, deren Körner einen Durchmesser von 0·0009 mm. besassen, die Anzahl der in einem bestimmten Volum enthaltenen Körner bei Erhebung um je 0·003 mm. auf die Hälfte sank.

Diese zwei Zahlen, 5600 m. und 0·003 mm., sind ein Mass für die Höhe der Luftatmosphäre und der am Gefässboden sich ansammelnden Gummigutt-Atmosphäre, und sie geben gleichzeitig das Mittel, um das relative Gewicht jener Gummigutt-Korn-Moleküle in Bezug auf Wasserstoffmoleküle zu bestimmen, da allgemein der Satz gilt, dass jene Höhe für verschiedene Gase umgekehrt proportional sein muss den Molekulargewichten derselben. In unserem Falle ist übrigens noch eine Correctur einzuführen, indem die Schwere der Gummiguttkörner infolge des hydrostatischen Auftriebes scheinbar vermindert ist. Andererseits berechnet man nun leicht das absolute Gewicht jener Körner aus den Dimensionen derselben; und das Verhältniss jener Zahlen ergibt somit den Factor, mit welchem das chemische Atom- oder Molekulargewicht zu multiplizieren ist, wenn man das absolute Gewicht der Atome oder Moleküle, in Gramm ausgedrückt, erhalten will. Er beträgt nach Perrin's Messungsergebnissen: $\frac{1}{7 \cdot 10^{23}}$, also folgt auch umgekehrt, dass beispielsweise ein Gramm Wasserstoff aus $7 \cdot 10^{23}$ Atomen besteht.

Das ist die fundamentale Zahl, um deren Ableitung es sich handelte. Die praktische Ausführung der dieser Berech-

nung als Grundlage dienenden Messungen erfordert die Überwindung mancher technischer Schwierigkeiten, wie Herstellung einer Emulsion mit genau gleichförmigen Körnern, genaue Bestimmung der Grösse derselben, Abzählung einer grossen Anzahl von Körnern in genau gemessenem Niveau, doch lässt sich alles das mit Hilfe einiger Kunstgriffe in relativ einfacher Weise erreichen. Perrin schenkte der von ihm und seinen Mitarbeitern (Dabrowski, Chaudesaigues) erhaltenen Zahl um so grösseres Vertrauen, als auch die aus Beobachtung der Brown'schen Bewegung erhaltenen Werte hiemit sehr gut übereinstimmten.

Bevor wir zur weiteren Besprechung der Folgerungen übergehen, welche sich an diese Bestimmung knüpfen, sei noch eine kurze Darlegung der neuesten, auf ganz anderen Prinzipien beruhenden Methode gegeben, welche mit jener an Einfachheit rivalisiert und sie an Genauigkeit vielleicht noch übertrifft.

Bekanntlich ist bei der Elektrolyse der Durchgang einer Elektrizitätsmenge von 96513 Coulomb erforderlich, um die Abscheidung von einem Gramm Wasserstoff (oder irgend eines anderen einwertigen Jons) zu bewirken. Die einwertigen Wasserstoff-Jonen entstehen nun durch Abspaltung je eines Elektrons von einem chemischen Wasserstoff-Atom; es sind also Atome die mit je einer elektrischen Elementarladung behaftet sind. Wäre also die Ladung eines Elektrons bekannt, so hätte man bloss die obige Zahl durch dieselbe zu dividieren, um die Anzahl der in einem Gramm Wasserstoff enthaltenen Atome zu erhalten, und die Genauigkeit dieser Bestimmungsmethode hängt nur von der genauen Ermittlung jener Elektronenladung ab.

In dieser Beziehung ist nun in den letzten zwei Jahren ein ganz aussergewöhnlicher Fortschritt zu constatieren, indem eine Versuchsmethode, deren Grundgedanke von J. J. Thomson und H. A. Wilson stammt, durch den Amerikaner Millikan derart umgestaltet wurde, dass sie nicht nur die wahre Elektronenladung mit grosser Präzision berechnen liess, sondern auch einen ganz schlagenden Beweis für die atomistisch-elektronische Struktur der Elektrizität lieferte.

Millikan stellt mittels eines Zerstäubers sehr kleine Öltröpfchen her, welche eben in Folge ihrer Kleinheit sehr lange in der Luft schweben bleiben und hiebei von den in der Luft

immer anwesenden positiven oder negativen Jonen manchmal ein oder das andere an sich ketten. Er bringt nun ein solches Tröpfchen in den Zwischenraum zwischen die horizontalgestellten Platten eines Kondensators und beobachtet mittels Fernrohres die Geschwindigkeit des Niedersinkens desselben unter Einfluss der Schwere. Aus dieser Geschwindigkeit lässt sich mit Hilfe einer bekannten, von Stokes abgeleiteten Formel der Durchmesser des Tröpfchens berechnen, der sich wegen seiner Kleinheit direkt nicht gut messen lässt.

Sodann wird eine bestimmte Potentialdifferenz an die Kondensatorplatten angelegt, so dass nun das Tröpfchen unter dem combinierten Einfluss seiner Schwere und der auf seine elektrische Ladung wirkenden Kraft steht. Handelt es sich beispielsweise um ein negativ geladenes Teilchen, so kann man es durch Aufladen der oberen Platte auf ein passendes positives Potential dazu bringen, dass es durch das elektrische Feld wieder gehoben wird. Aus der betreffenden Geschwindigkeit berechnet man dann leicht die Grösse der auf das Tröpfchen wirkenden elektrischen Kraft im Vergleich zu dessen Schwere und hieraus die Grösse der elektrischen Ladung desselben.

Eine für das Gelingen notwendige Bedingung ist natürlich das Fernhalten jeglicher Luftströmung, und diese war bei Millikan's Versuchen so gut erfüllt, dass ein und dasselbe Tröpfchen stundenlange im Gesichtsfelde des Fernrohres beobachtet werden konnte, wobei es einige hundertmal niedersank und wieder gehoben wurde.

Als Resultat der Millikan'schen Messungen ergab sich nun, dass die elektrischen Ladungen der Tröpfchen genau ganzzahlige Vielfache einer Quantität waren, welche $4{\cdot}89.10^{-10}$ elektrostatische Einheiten betrug. Manchmal waren sie positiv, manchmal negativ, betrugen vier, fünf, bis siebzehn solcher Elementarquanta, aber unter einigen Tausend Versuchen kam nicht ein einzigesmal eine abweichende Ladung vor, das heist eine solche, welche kleiner gewesen wäre als jenes Quantum oder einen Bruchteil desselben enthalten hätte.

Es ist dies ein evidenter Beweis, dass Elektrizität sozusagen nur in Stücken von jener Grösse vorkommt — welche wir eben « Elementarladung » oder Ladung eines « Elektrons » nennen. Bewundernswert ist wohl die Feinheit und Präzision jener Methode. Wer hätte es früher für möglich gehalten, dass

man so direkt die Ladungen einzelner Elektronen zu messen im Stande sein würde! Wie ganz aussichtslos ist demgegenüber der Gedanke, eine Wage zu construiren, mittels der man einzelne Atome wägen könnte! Es zeigt sich da wieder einmal die Überlegenheit der auf elektrische Grössen bezüglichen Messmethoden gegenüber denen anderer physikalischer Grössen. Ausserdem gibt es übrigens noch eine ganze Reihe anderer, ebenfalls sehr interessanter Methoden zur Bestimmung der Elementarladung, welche jedoch an Genauigkeit der eben beschriebenen nachstehen dürften.

Kehren wir nun zu unsererem ursprünglichen Probleme zurück. Da wir nämlich die Elementarladung kennen, erhalten wir nach dem früher Gesagten ohneweiters die Anzahl der in einem Gramm Wasserstoff enthaltenen Atome, und zwar beträgt dieselbe $N = 5{\cdot}9.10^{23}$. Wie wir sehen, stimmt die Grössenordnung vollständig mit der auf gänzlich verschiedenem Wege erhaltenen Zahl Perrin's $N = 7.10^{23}$ überein; aber es verbleibt doch noch ein gewisser, nicht ganz aufgeklärter Unterschied. Solange diese Versuche nicht von mehreren anderen Beobachtern wiederholt sind, ist es schwer zu sagen, welche von den beiden Zahlen das grössere Vertrauen verdient. Vorderhand dürfte man doch wohl die Zahl Millikan's als der Wahrheit näher kommend ansehen, da bei den Perrin'schen Versuchen eher die Existenz von gewissen Fehlerquellen zu vermuten wäre. Somit verfahren wir vielleicht am besten, wenn wir derzeit die Zahl $N = 6{\cdot}3.10^{23}$ annehmen, welche einer von Zangger gemachten Messung der Brown'schen Molekularbewegung entspricht und welche auch sehr nahe mit einem von Planck aus seiner Strahlungstheorie abgeleiteten Wert $N = 6{\cdot}2.10^{23}$ übereinstimmt. Als eigentlicher Beweisgrund kann letzteres zwar nicht gelten, da ja die Planck'sche Theorie auf gewissen noch ganz unaufgeklärten hypothetischen Elementen aufgebaut ist, aber es erhöht das doch die Warscheinlichkeit, dass unsere Wahl die richtige ist.

Jedenfalls sehen wir soviel, dass die atomistische Theorie heute einen grossen Fortschritt in quantitativer Vervollkommnung gemacht hat. Die Frage, wie gross die Anzahl der Atome in einem gegebenen Quantum Substanz sei, ist zu einem gewissen Abschluss gelangt. Bis vor fünfzig Jahren hatte man nicht die leiseste Andeutung, wie diese Frage zu beantworten sei, bis vor fünfzehn Jahren konnte man noch

schwanken, ob die Zahl 3.10^{24} oder 6.10^{21} Atome pro Gramm-Atom richtiger sei, heute kann es sich nur um einen Unterschied von wenigen Prozenten in dem oben angegebenen Werte von N handeln.

Jener Wert bildet den Schlüssel zu einer ganzen Reihe von Aufschlüssen prinzipiell wichtiger Art. Vor Allem sehen wir also, dass man die chemischen Atomgewichte durch die Zahl $6{\cdot}3.10^{23}$ dividiren muss, um das wahre Gewicht der Atome in Gramm zu erhalten. Das kleinste materielle, elektrisch neutrale Teilchen, das Wasserstoff-Atom, wiegt also gerade $1{\cdot}6.10^{-24}$ Gramm.

Um diese Zahlen unserem Verständis näher zu bringen, bemerken wir, dass ein Regentropfen soviel Atome enthält wie die Anzahl der Wassertropfen, aus denen das ganze Mittelländische Meer besteht.

Das sind jedoch, wie wir heute wissen, durchaus nicht die kleinsten überhaupt existierenden Teilchen, denn Atome besitzen ja einen sehr komplizierten Bau. Die Bausteine, aus welchen sie bestehen, werden sichtbar wenn der Bau in Trümmer geht; einen solchen Vorgang nennen wir eine « radioaktive Umwandlung » des Atoms, wie solche bei radioaktiven Substanzen beobachtet werden. Es sind das bekanntlich positiv elektrische α Teilchen, von der Grösse des Heliumatoms, und negative β Teilchen, welche mit den als « Elektronen » bekannten Elementarteilchen negativer Elektrizität identisch sind. Allerdings muss es noch kleinere positiv elektrische Teilchen geben als jene α Teilchen, denn das positive Wasserstoff-Jon wiegt ja nur den vierten Teil eines Heliumatoms ($H_e = 4$), doch ist uns über die Natur jener positiven Bausteine bisher nichts näheres bekannt.

Die Masse der negativen Elektronen kennen wir allerdings ganz genau; man kann sie, wie zuerst J. J. Thomson gezeigt hat, aus der Ablenkung der Kathodenstrahlen im magnetischen Felde berechnen und findet sie zu $\frac{1}{1820}$ der Masse eines Wasserstoffatoms. Diese Elektronen kommen jedoch nur als negativ geladene Teilchen vor; als kleinstes bisher bekanntes unelektrisches Teilchen, als kleinstes Teilchen dessen was wir Materie nennen, müssen wir noch immer das Wasserstoffatom ansehen.

Aus jener fundamentalen Grösse ergibt sich weiter in

sehr einfacher Weise die Anzahl der Moleküle, welche in der Volumeinheit eines beliebigen Gases unter normalen Verhältnissen (bei 0° C. und 760 mm. Druck) enthalten sind. Denn bekanntlich sind Wasserstoffmoleküle zweiatomig; wenn man also die halbe Dichte des Wasserstoffs mit jener Zahl N multipliziert, so erhält man die auf ein cm.^{3} entfallende Molekülzahl zu $2{\cdot}8.10^{19}$, das ist ungefähr die Hälfte des von O. E. Meyer angenommenen Wertes; bekanntlich ist diese Zahl gemäss Avogrado's Princip für alle Gase gleich. Wer Freude an grossen Zahlen hat, mag sich darnach ausrechnen, wie viel Moleküle die ganze Atmosphäre der Erde enthält, oder aus ungefähr wie viel Atomen unser Sonnensystem bestehen mag. Er wird im ersteren Falle eine Zahl von der Grössenordnung 10^{44}, im letzteren 10^{56} erhalten.

Das ist natürlich eine ziemlich nutzlose Spielerei, da wir für solche Zahlen überhaupt kein eigentliches Verständniss haben. Doch ist es wichtig zu bemerken, dass selbst in dem kleinsten Volumen, welches noch direkt mit dem blossen Auge unterscheidbar ist — das ist ungefähr ein Würfel von 0·1 mm-Seitenlänge, — unter normalen Verhältnissen immer noch nicht weniger denn 3.10^{13} Gasmoleküle vorhanden sind. Dieser Umstand ist von grosser Bedeutung angesichts der atomistisch kinetischen Interpretation der Sätze der Thermodynamik, wonach der Entropiesatz ein statistisch begründeter Wahrscheinlichkeitssatz ist, welcher nur mit solcher Annäherung gilt wie das Gesetz der grossen Zahlen. Nun ist es klar, dass wir es tatsächlich in der makroskopischen Praxis immer mit so enormen Molekülzahlen zu tun haben, dass tatsächlich das Gesetz der grossen Zahlen mit grosser Genauigkeit zutreffen muss.

Dagegen können sich bei « mikroskopischen » Beobachtungsmethoden unter Umständen wohl die Abweichungen von dem nach der üblichen Thermodynamik zu erwartenden Verhalten bemerkbar machen — und tatsächlich bilden derlei Abweichungen eben die Grundlage für die vorhin teils kurz erwähnten, teils ausführlicher dargestellten Methoden zur Bestimmung der Molekülzahlen (Brown'sche Bewegung, Opalescenz, Verteilung der Emulsionsteilchen). Wir müssen es uns jedoch versagen, den hier berührten, sehr interessanten Zusammenhang zwischen Thermodynamik und den Wahrscheinlichkeitssätzen näher zu erörtern, da dies den Rahmen dieser Studie weit überschreiten würde.

Von dem nun gewonnenen Standpunkt aus lässt sich heute auch die Frage nach der Grösse der Atome von Neuem aufnehmen. Mit Benützung der Grösse *b* von Van der Waals ergeben sich nun für die Molekulardurchmesser von Wasserstoff, Argon, Krypton, Luft u. dergl. Werte von 5.10^{-8} bis 7.10^{-8} cm., also ein von dem Loschmidt'schen nicht sehr verschiedenes Resultat.

Damit sind jedoch die früher berührten prinzipiellen Probleme durchaus nicht entschieden. Was bedeutet denn ein solcher « Durchmesser »? Ist das Volumen der Atome nicht vielmehr als eine Art Wirkungssphäre abstossender Kräfte aufzufassen, wie dies ja auch beispielsweise Maxwell in seinen späteren Arbeiten über kinetische Gastheorie annahm? In jener Gastheorie Maxwell's, welche auf der Hypothese von abstossenden, der 5. Potenz der Entfernung umgekehrt proportionalen Molekularkräften aufgebaut ist, kommt überhaupt weder der Begriff der mittleren freien Weglänge noch jener eines wahren Molekulardurchmessers vor.

Man kann ebenso gut sagen, dass Maxwell's Moleküle ein Volumen Null besitzen — wenn man nämlich darunter ein absolut undurchdringliches Kernvolumen versteht — wie auch dass ihr Volumen unendlich gross ist — wenn man als solches die Wirkungssphäre der abstossenden Kräfte ansieht, die ja in diesem Falle streng genommen bis ins Unendliche reichen.

Das spezielle Molekularkraftwirkungsgesetz der Hypothese Maxwell's war ja selbstverständlich nur eine provisorische, aus gewissen mathematischen Gründen gewählte Annahme, und es hat wohl nie jemand ernstlich an deren Realität geglaubt, aber es steckt darin ein sehr beachtenswerter Gedanke von bleibendem Werte: die Annahme eines örtlich continuierlichen Überganges der für die « Materie » charakteristischen Eigenschaften, an Stelle des discontinuierlichen Überganges an der « Oberfläche » der Moleküle.

Soll man also überhaupt die Atomistik im Sinne der Continuitäts- oder der Discontinuitätstheorie ausbauen? Es ist ja von vornherein beides gleich gut möglich. Oder soll man vielleicht beide Annahmen combinieren und für die Atome ein eigentliches « materielles » Kernvolumen annehmen, umgeben mit einer gewissen Attractionssphäre, — wie dies beispielsweise Sutherland und Kleemann in ihren interessanten Speculationen tun? Um darüber etwas Bestimmteres aussagen zu

können, müsste man vor Allem ganz genau wissen, in welcher Weise der scheinbare Atomdurchmesser, das ist der kleinste Abstand zweier zusammenstossender Atome, von den Geschwindigkeiten derselben und etwaigen anderen Umständen abhängt.

Eine endgiltige Antwort auf alle diese Fragen liegt wohl noch in weiter Ferne. Sie hängen offenbar mit der Frage nach den Details des inneren Baues der Atome zusammen und werden wohl erst im Verein mit den ganz analogen, die Beschaffenheit der Elektronen betreffenden Problemen eine Lösung erfahren.

Kaum dass die Physik durch Lösung eines Fundamentalproblems der Atomistik einen Grundpfeiler der modernen Naturerkenntnis gefestigt hat, steht sie vor einer verwirrenden Fülle neuer Räthsel. Es ist gut so — sonst wäre sie eine tote Wissenschaft.

Lemberg, Uniwersytet.

Viennent de paraître:

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Les étapes de la philosophie mathématique, par LÉON BRUNSCHVICG, docteur ès lettres, professeur agrégé au lycée Henri IV. 1 vol. in-8 . . . . . . **10** fr.

Les antinomies entre l'Individu et la Société, par G. PALANTE, agrégé de philosophie. 1 vol. in-8 . . . . . . **5** fr.

Les Sentiments généreux, par A. CARTAULT, professeur à la Sorbonne. 1 vol. in-8 . . . . . . **5** fr.

La philosophie allemande au XIXe siècle. (*Dilthey - Husserl - Eucken - Wundt - Simmel. — La philosophie des sciences historiques. — Les grands courants de l'esthétique allemande contemporaine*, par MM. Ch. ANDLER, V. BASCH, J. BENRUBI, C. BOUGLÉ, V. DELBOS, G. DWELSHAUVERS, B. GROETHUYSEN, H. NORERO. 1 vol. in-8 . . . . . . **5** fr.

Essai sur les apparitions et opuscules divers. *Essai sur les apparitions et les faits qui s'y rattachent. — Du bruit et du vacarme. — Allégories, paraboles et fables. — Remarques de Schopenhauer sur lui-même*, par ARTHUR SCHOPENHAUER. Première traduction française avec preface et notes par AUGUSTE DIETRICH. Tome VIII des *Parerga et Paralipomena.* 1 vol. in-16 . . . . . . **2** fr. **50**

Une philosophie nouvelle. Henry Bergson, par EDOUARD LE ROY. 1 vol. in-16, 2e édit. . . . . . . **2** fr. **50**

L'intuition bergsonienne, par J. SEGOND, docteur ès lettres. 1 vol. in-16 . . . . . . **2** fr. **50**

Œuvres philosophiques choisies de David Hume. Tome II : *Traité de la nature humaine. De l'entendement.* Traduit de l'anglais par MAXIME DAVID, professeur agrégé de philosophie. 1 vol. in-8 de la *Collection historique des Grands Philosophes* . . . . . . **6** fr.

PRÉCÉDEMMENT PARU : Tome I. *Essai sur l'entendement humain. Dialogues sur la religion naturelle.* Préface de L. LÉVY-BRUHL, professeur à la Sorbonne. 1 vol. in-8 . . . . . . **5** fr.

La Géographie humaine. (*Essai de classification positive. Principes et exemples,* par J. BRUNHES, professeur au Collège de France. 2e édition, revue et augmentée, avec 272 grav. et cartes dans le texte et hors texte (dans 66 nouvelles). 1 fort vol. gr. in-8 de XV-802 pages. (*Couronné par l'Académie française et médaille d'or de la Société de Géographie de Paris*). **20** fr.

Le Maroc physique, par LOUIS GENTIL, professeur adjoint à la Sorbonne. 1 vol. in-16 de la *Nouvelle Collection scientifique,* avec cartes. **3** fr. **50**

Envoi franco contre mandat-poste.

FRIEDRICH DANNEMANN

Die Naturwissenschaften

in ihrer Entwicklung und
in ihrem Zusammenhange

In vier Bänden. gr. 8

Erster Band: **Von den Anfängen bis zum Wiederaufleben der Wissenschaften.** Mit 50 Abbildungen im Text und mit einem Bildnis von Aristoteles. Geheftet M. 9.—; in Leinen gebunden M. 10.—.

Zweiter Band: **Von Galilei bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts.** Mit 116 Abbildungen im Text und einem Bildnis von Galilei. Geheftet M. 10.—; in Leinen gebunden M. 11.—.

Dritter Band: **Das Emporblühen der modernen Naturwissenschaften bis zur Entdeckung des Energieprinzipes.** Mit 60 Abbildungen im Text und einem Bildnis von Gauss. Geh. M. 9,—, in Leinen geb. M. 10.—.

Der letzte Band befindet sich in Vorbereitung
und erscheint im Laufe des Jahres 1912.

KONRAD GUENTHER

Einführung in die Tropenwelt

Erlebnisse, Beobachtungen und Betrachtungen eines Naturforschers auf Ceylon, zugleich ein Handbuch für den Reisenden

25 Bogen 8° mit 107 Abbildungen nach photographischen Original-Aufnahmen des Verfassers und einer Karte von Ceylon. In elegantes engl. Leinen gebunden M. **4.80**

Inhalt: 1. Kapitel: Auf der See. — 2. Kapitel: Europäische und tropische Landschaft, Temperatur, Gesundheitsregeln, sogenannte Gefahren. — 3. Kapitel: Das Leben auf Ceylon. Einkäufe und Ausrüstung. — 4. Kapitel: Vogelleben auf Peradeniya. — 5. Kapitel: Reptilien, Insekten und andere Tiere. — 6. Kapitel: Die grossen Tiere und die Jagd auf Ceylon. 7. Kapitel: Vom tropischen Urwald. — 8. Kapitel: Im Hochland. — 9. Kapitel: Am Mangrovesee. — 10. Kapitel: Am Indischen Ozean. — 11. Kapitel: Kulturpflanzungen. — 12. Kapitel: Das Volk. — 13. Kapitel: Versunkene Städte. — 14. Kapitel: Der Buddhismus. — Register.

GIOVANNI PASCOLI

SOTTO IL VELAME

SAGGIO
di una interpretazione generale del poema sacro.
Un volume in-16 con copertina di A. DE CAROLIS
Lire SETTE

GIOVANNI PASCOLI

POESIE VARIE

RACCOLTE DA MARIA
Un volume in-8 con copertina e fregi di A. DE CAROLIS
con ritratto e fac-simile dell'*Inno a Dante degli emigrati Italiani*
Lire QUATTRO

Di imminente pubblicazione

LA MIRABILE VISIONE

ABBOZZO DI UNA STORIA DELLA DIVINA COMEDIA

POEMATA

A CURA DEL PROF. E. PISTELLI — Edizione di gran lusso.

LUIGI RAVA

L'ultimo figlio di Virgilio

Commemorazione di GIOVANNI PASCOLI in S. Mauro di Romagna
Un volume in-8 con ritratto — Lire DUE.

GIOVANNI ROSADI

La COMMEMORAZIONE del PASCOLI a Barga

Un volumetto in-8 — Lire **0,60.**

ALFREDO BASSERMANN

ORME DI DANTE

IN ITALIA

Opera tradotta dalla 2ª Edizione tedesca
da EGIDIO GORRA

Grosso volume in-16 con copertina illustrata — Lire **3,50**

G. A. CESAREO

POESIE

Le occidentali - Gl'inni
Le consolatrici

Un volume in-16 legato in tela, con ritratto — Lire SEI

GIUSEPPE CESARE ABBA

LE RIVE DELLA BORMIDA

RACCONTO

NUOVA EDIZIONE CON PREFAZIONE
di **DINO MANTOVANI**

Un volume in-16 con copertina a colori — Lire QUATTRO

“ SCIENTIA „ Rivista di Scienza

Toute correspondance ou envoi concernant la direction ou la rédaction, doit être adressé impersonnellement à la Direction, Milan, Rue Aurelio Saffi, 11, ou bien au *Secrétaire de la Rédaction, M. le Docteur* PAOLO BONETTI, *même adresse.*

On est prié d'adresser les *demandes d'abonnements:* pour l'Italie, à Nicola Zanichelli, éditeur à Bologne; pour la France, les Colonies françaises, la Suisse Romande et la Belgique, à Félix Alcan, éditeur à Paris; pour l'Allemagne, l'Autriche, la Hollande, la Danemark, la Suisse Allemande, la Suède et la Norvège, à Wilhelm Engelmann, éditeur à Leipzig; pour l'Angleterre et les Colonies Anglaises, à Williams and Norgate, éditeurs à Londres. Pour les autres pays à l'un ou à l'autre de ces quatre éditeurs.

Pour les **annonces** il faut s'adresser au secrétariat général à Milan, Rue Aurelio Saffi, 11, ou bien à l'éditeur Nicola Zanichelli à Bologne.

PRIX ANNUEL D'ABONNEMENT

Italie: lire **25**

Union Postale: **30** frs. — Mk. **24** — **24** sh.

Extrait de l'Avertissement à MM. les Auteurs.

« Le **Comité de Direction** se réserve la faculté d'établir par « avance le programme des questions à étudier et de répartir le « travail entre ses éminents collaborateurs afin d'assurer à la revue « l'unité organique qui ne serait pas réalisable si l'on acceptait des « articles sur des sujets disparates, sans aucun lien entre eux, « fussent-ils dus à la plume de savants d'une valeur incontestable.

« Tous les articles demandés, à quelque genre qu'ils appar- « tiennent, — articles proprement dits, notes critiques, comptes « rendus, revues générales etc. — seront rétribués au même tarif « de *80 frs. par feuille in-8°* (16 pages). L'auteur aura en outre « droit, quel que soit le genre de son écrit, à **100 extraits gratuits;** « pour les articles paraissant en deux langues il recevra gratuite- « ment **50 extraits du texte original et 50 extraits de la traduction** « **française.**

« **Les manuscrits ne sont pas rendus, pas même ceux qui, envoyés** « **sans avoir été demandés, ne pourraient pas être publiés** ».